

종자크기에 따른 참나무 4종의 발아율, 초기 성장율과 생존율 변화

신 정 훈 · 유 영 한*

공주대학교 대학원 생물학과

Effects of Seed Size on the Rate of Germination, Early Growth and Winter Survival in Four Oaks Species

Jeong-Hoon Shin and Young-Han You*

Department of Biology, Kongju National University, Kongju 314-701, Korea

Abstract – In order to know the effect of seed size on the early plant life history, we measured the rate of germination, early growth and winter survival of four oak species with different acorn size (large, medium and small). The mean germination rate was higher in the larger seed species (*Q. acutissima* and *Q. variabilis*) than those of the smaller seed species (*Q. aliena* and *Q. serrata*). Within *Q. variabilis*, the germination rate decreased with larger acorn size class but that of rest other species was not significantly affected by the acorn size. The early mean growth rate decreased with acorn size in the order of *Q. acutissima*, *Q. variabilis*, *Q. aliena* and *Q. serrata*. The early mean growth rate was higher in large or medium size than in small size of *Q. acutissima* and *Q. variabilis*, but it showed no difference with acorn size in *Q. aliena* and *Q. serrata*. Survival rate in winter was the highest in the medium acorn size among 4 oak species, the seedling of *Q. serrata* and *Q. variabilis* did not survive in both large and small acorn size. These results indicate that seed size influences a different effect on the early plant life history stage.

Key words : *Quercus*, acorn, weight, seedling, low temperature

서 론

낙엽성 참나무류인 상수리나무, 굴참나무, 갈참나무, 졸참나무 등은 우리나라 산림의 주요 우점종이다(이 1961a, b; 김 등 1984; 이 2003). 그 중 상수리나무가 남으로 북위 33°20'의 제주 한라산으로부터 시작하여 북위 39°50'의 함남 사수산까지, 굴참나무는 북위 39°30'의 전남 완도로부터 북위 40°의 평남 묘향산까지, 갈참나무는 수평적으로 북위 33°20'의 제주 한라산부터 북위 40°의 평남

묘향산까지, 졸참나무는 제주 한라산에서 북위 41°50'의 함북 칠보산에 이르는 지역까지 분포한다(정과 이 1965).

이들 참나무는 심근성으로 환경 적응력이 뛰어나고, 낙엽은 임지의 비옥화에 크게 기여하며 목재의 이용가치도 매우 높은 우리 고유의 향토 수종이다(변 2000). 다양한 산림의 기능과 생태적으로 안정되며 지속적으로 생산이 가능한 산림 경영체계의 추구라는 21세기 산림정책에 부합하여 참나무류에 대한 중요성은 날로 높아지고 있는 실정이다. 따라서 경제적이고 환경적인 가치가 있는 참나무에 대한 생태, 생리학적인 기초 연구가 필요하다(변 2000).

종자크기는 식물의 생활사에 큰 영향을 미치는 요인

* Corresponding author: Young-Han You, Tel. 041-850-8508, Fax. 041-850-8505, E-mail. youeco21@kongju.ac.kr

중 하나이며 발아, 분산 그리고 유식물 정착 등에 영향을 미친다(Wulff 1986). 일반적으로 크기가 큰 종자는 건조하며 교란이 적은 서식지 또는 고도가 낮고 위도가 높은 지역에 주로 분포한다. 이는 크기가 큰 종자로부터 출현한 유식물은 지하부 신장 속도가 빨라 건조한 환경에 하에서 다른 유식물에 비해 경쟁에서 유리하기 때문이다(Wulff 1986). 또한 종자크기에 따라 떡잎 출현과 생존율과 생장율이 영향을 받으며, 큰 종자는 유식물의 높이, 지름, 잎 면적, 생물량에서 작은 종자에 비해 유리하다(Bonfil 1998).

한편으로는 종자의 크기가 큰 것만이 항상 좋은 것은 아니라는 보고도 있다. 큰 종자는 동물의 섭식에 의해서 영향을 받는다(Gómez 2004). 식물의 종자크기 선택은 환경과 영양 상태(Milberg *et al.* 1998), 종자 수와 우성 개체 선택(Gómez 2004), 동물에 의한 섭식 등 복잡한 요소들의 종합으로 나타나기 때문에 그 종류와 생식지에 따라 달라진다(He *et al.* 2005).

이처럼 종자의 크기는 식물의 발아, 생존과 유식물 생장 등에 큰 영향을 미친다(전 등 2003; 문 2007). 그러나 우리나라 참나무를 대상으로 종자의 크기에 따른 발아, 생존 및 생장에 대한 연구는 거의 없다. 우리나라에서 참나무에 대한 연구는 생태적 연구(신 등 1992; 송 등 1995; 이 1995; 김 등 2008; 이와 유 2009), 생육환경과 생리실험에 대한 연구(김 등 1984; 임업연구원 1988, 1989, 1990; 정 등 2009, 2010; 홍 등 2010) 등이 있다.

본 연구는 낙엽성 참나무인 상수리나무, 굴참나무, 갈참나무 그리고 졸참나무 4종을 대상으로 종자크기에 따른 그들의 발아, 초기 생장율, 겨울철 생존율의 반응을 알아보았다.

재료 및 방법

1. 재료

국내의 낙엽성 참나무 4종인 상수리나무 (*Quercus acutissima*), 굴참나무 (*Q. variabilis*), 갈참나무 (*Q. aliena*) 그리고 졸참나무 (*Q. serrata*) 종자를 사용하였다. 이들 종자는 2007년 9월 공주 신관동 인근 야산에서 채집한 것이다.

2. 종자크기 선정, 발아와 양묘

참나무 4종의 종자 무게를 측정하여 크기별로 대, 중, 소로 구분하여 사용하였다. 각 종자 무게(평균±표준편차)는 상수리나무에서 큰 종자 5.15 ± 0.56 g, 중간 종자

4.85 ± 0.82 g, 작은 종자 4.55 ± 0.56 g 이었고, 굴참나무에서는 큰 종자 5.17 ± 0.43 g, 중간 종자 4.61 ± 0.25 g, 작은 종자 4.55 ± 0.27 g, 갈참나무에서는 큰 종자 3.52 ± 0.25 g, 중간 종자 3.19 ± 0.12 g, 작은 종자 1.00 ± 0.26 g 이었다. 그리고 졸참나무는 큰 종자 2.07 ± 0.37 g, 중간 종자 1.78 ± 0.09 g, 작은 종자 1.55 ± 0.14 g 이었다. 이상의 무게로 봤을 때 평균 종자크기는 상수리나무가 가장 컸으며 굴참나무, 갈참나무, 졸참나무 순으로 작았다(Fig. 1).

벌레가 먹은 것이나 상처가 있거나 썩은 것과 썩정이는 제외하고 양호한 도토리를 사용하였다. 이와 같이 선별한 종자는 4°C에 냉장보관한 후 10월에 야외의 플라스틱 통(100×70×40 cm)에 파종하였다. 발아 실험에 사용한 흙은 입자의 크기와 영양분이 같은 모래를 사용하였다. 파종한 종자의 수는 갈참나무가 큰 종자 36개, 중간 종자 100개, 작은 종자 100개, 굴참나무는 큰 종자 25개, 중간 종자 82개, 작은 종자 15개, 상수리나무와 졸참나무는 큰 종자, 중간 종자, 작은 종자 각 100개씩 파종하였다. 파종한 종자수가 각 종마다 차이가 나는 이유는 10월까지 저장한 후 양호한 도토리를 선별하여 파종하였기 때문이다.

3. 수확 및 측정

발아율은 2008년 9월 4주부터 2008년 11월 1주에 첫 서리가 내릴 때까지 1주일 간격으로 측정하였다. 발아율은 전체 파종한 종자 수에 대한 지상부가 돌아난 개수의 비로 계산하였다. 초기 생장율은 2008년 9월 4주부터 2009년 11월 1주까지 1주일 간격으로 줄기길이를 측정하였다. 줄기길이는 잔뿌리가 난 기점으로부터 시작하여 정단부의 끝까지를 자로 재어 측정하였다. 종자크기에 따

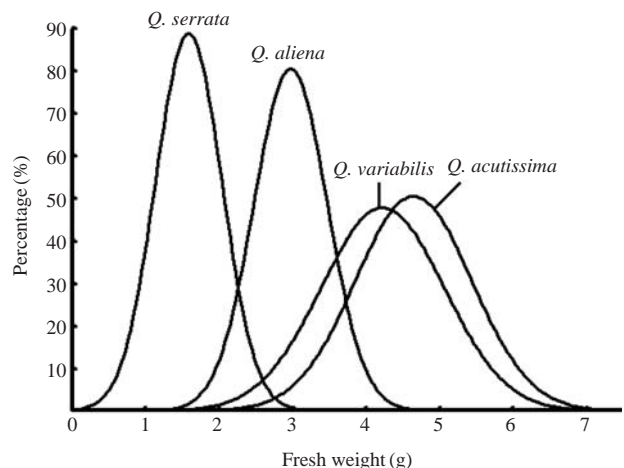


Fig. 1. Seed size distribution of *Quercus acutissima*, *Q. variabilis*, *Q. aliena* and *Q. serrata*.

른 초기 생장율의 차이는 일원분산분석 (Oneway ANOVA) 으로 Statistica 통계패키지를 (Statsoft Co. 2006) 사용하였다 (Noh and Jeong 2002). 겨울철 생존율 (%)은 2008년 11월에 줄기가 나온 후 겨울철 추위를 지낸 이듬해 2009년 5월말에 새 줄기가 나오는 개체의 비로 계산하였다.

결과 및 고찰

1. 초기 발아율

초기 발아율은 참나무 4종이 서로 달랐다 (Fig. 2). 굴참나무 (87%)는 종자가 작을수록 발아율이 높았다. 상수리나무에서는 크거나 (50%) 작은 종자 (47%)보다 중간 종자 (55%)에서 가장 높았다. 그리고 종자가 비교적 작은 갈참나무 (39%)와 졸참나무 (8%)에서는, 굴참나무 (62%)나 상수리나무 (55%)와는 달리 중간 종자에서 발아율이 가장 낮았다. 중간 평균발아율은 종자크기가 큰 굴참나무 (65%)와 상수리나무 (50.7%)에서 발아율이 높았고 크기가 작은 갈참나무 (40.5%)와 졸참나무 (9.3%)에서 낮았다 (Fig. 2).

갈참나무와 졸참나무의 발아율이 큰 종자에서 높은 것은 Kanazawa (1975)가 물참나무를 연구하여 종자크기가 커지면 발아율이 높아진다는 보고와 유사한 경향을 보였다. 또한 상수리나무의 결과가 종자크기와 상관없이 발아율의 경향성이 없었는데 이러한 결과는 Xiao *et al.* (2004)가 졸참나무에서 종자크기와 종자 발아 사이에는 상관관계가 적다는 연구와 유사한 경향을 보였다. 그런데 우리의 연구결과와 같이 굴참나무에서 종자크기가 클수록 발아율이 떨어진다는 결과는 특이한 것이다. 이러한 결과가 나온 이유는 굴참나무가 실험에 사용한 4

종 중 가장 발아가 일찍 일어나는데 본 연구에서는 발아 실험을 가을철에 파종을 해서 종자의 발아력이 영향을 받았기 때문으로 해석된다. 일반적으로는 나무나 풀에 상관없이 야생 식물들은 종자가 크면 종자가 크다고 알려져 있다 (Harper *et al.* 1970; Stanton 1984, 1985; Westoby *et al.* 1992; Leshman *et al.* 2000). 우리의 연구결과에서도 이와 같이 굴참나무와 상수리나무와 같이 종자의 평균적인 크기가 큰 종이 상대적으로 크기가 작은 갈참나무와 졸참나무보다 평균적인 발아율이 높았다.

2. 초기 생장율

평균 초기 생장율은 종자크기가 큰 상수리나무 (19.8 cm), 굴참나무 (16.7 cm)가 가장 높았고, 갈참나무 (13.2 cm)가 중간이었고, 졸참나무 (7.8 cm)가 가장 낮았다 (Fig. 3). 종자크기가 큰 상수리나무와 굴참나무에서는 큰 종자와 중간종자의 생장율이 높았고 작은 종자에서 낮았다. 종자크기가 작은 갈참나무와 졸참나무에서는 종자크기에 상관없이 생장율이 유사하였다.

이러한 상수리나무와 굴참나무의 연구결과와 같이 참나무에서 중간 종자나 큰 종자가 생장율이 높다는 것은 여러 연구자들 (Mccomb 1934; Long and Jones 1996; Bonfil 1998)에 의해서도 밝혀진 바 있다. 이와 같이 종자가 크면 생육이 잘 되는 것은 종자가 클수록 영양소 함량이 높아 유식물 줄기생장에 긍정적인 영향을 주기 때문으로 해석된다 (Kenji and Kihachiro 1991; Ke and Werger 1999). 그러나 종자크기가 작으면 생장율의 차이가 없다고 하였는데 이는 Xiao *et al.* (2004)의 연구와 일치하는 것이다. 이와 같이 졸참나무에서 종자크기가 커도 생장율이 높지 않은 것은 종자가 원래 절대적으로 다른 종

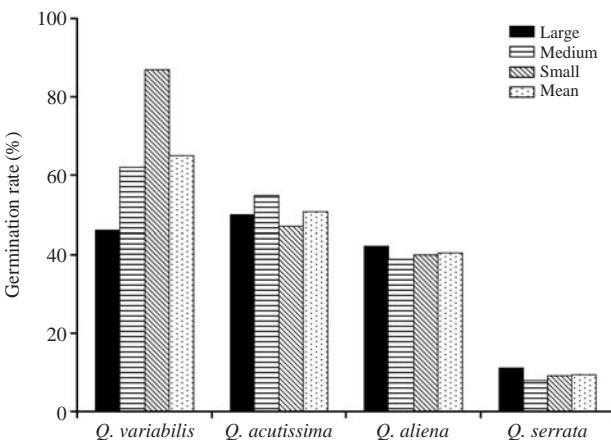


Fig. 2. Germination rate with different seed size class (large, medium, small) in *Q. acutissima*, *Q. variabilis*, *Q. aliena* and *Q. serrata*.

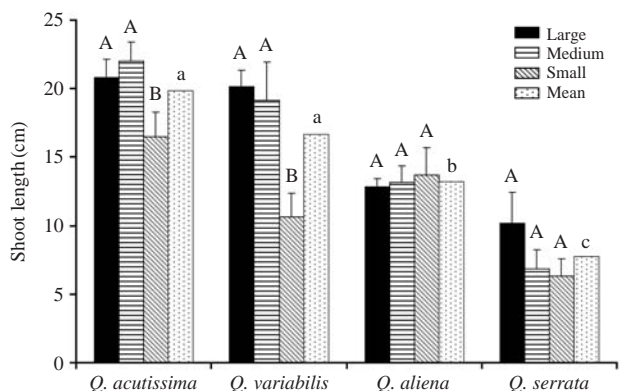


Fig. 3. Stem length with different seed size of *Q. acutissima*, *Q. variabilis*, *Q. aliena* and *Q. serrata*. Capital alphabets on the bars indicate significantly different among seed size class level within each species and low cases mean significantly different among 4 species ($p < 0.05$).

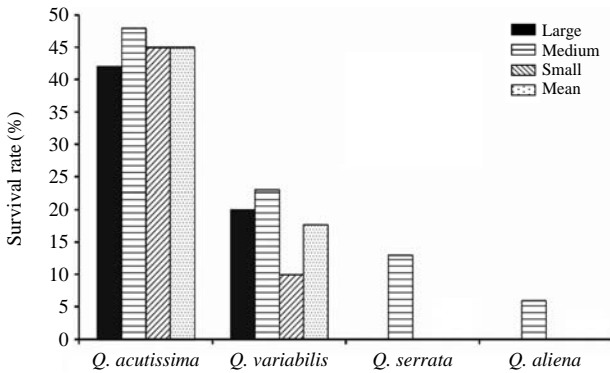


Fig. 4. Survival rate with different seed size class (large, medium, small) in *Q. acutissima*, *Q. variabilis*, *Q. aliena* and *Q. serrata*.

에 비해서 작아 영양분의 함량이 차이가 별로 나지 않기 때문인 것으로 해석된다 (Fig. 1).

그런데 식물 종자의 발아율, 생존율, 성장율은 주로 종자크기에 영향을 받지만 종자의 산포, 동물의 행동, 섭식 등 생물학적 요인과 경쟁, 온도, 광, 토양성질과 수분 등의 물리적 요인과 산소, pH, 토양 염류 등 화학적 요인들에 의해서도 영향을 받는다 (Krebs 2009). 이상으로 볼 때 큰 종자가 작은 것보다 유식물 정착이나 초기 성장에 큰 이점을 갖는다는 점에서 상수리나무와 굴참나무 종자는 다른 2종에 비해 초기 정착과정에서 유리할 것으로 판단된다.

3. 겨울철 생존율

겨울철 생존율은 참나무 4종마다 달랐고 중간크기에서 가장 높았다 (Fig. 3). 상수리나무와 갈참나무는 중간 종자의 겨울철 생존율이 큰 종자나 작은 종자의 것보다 높았고, 졸참나무 (13%)와 굴참나무 (6%)에서는 중간 종자의 것만이 살아남았다. 중간 평균 생존율은 종자크기가 가장 큰 상수리나무 (4.621 g)가 평균 생존율 45%로 가장 높았고, 상대적으로 크기가 작은 갈참나무 (2.956 g)는 17.7%, 졸참나무 (1.574 g)가 4.3%, 굴참나무가 (4.175 g) 17.7%로 낮았다. 그런데 굴참나무는 종자가 큰 편이지만 겨울철 생존율은 2%로 낮았다.

그러나 이러한 우리의 결과와 같이 중간크기의 종자에서 나온 유식물의 생존율이 높다는 것은 이분야의 현재까지의 연구결과와는 다른 것이다. 물참나무, 졸참나무, 열대우림 수종, 유칼립투스 나무와 갯쟁이 등의 초본 식물에서는 큰 종자에서 나온 유식물이 작은 종자의 것보다 생존에 유리하다고 보고 되었다 (Givnish 1988; Metcalfe and Grubb 1995; Bonfil 1998; Ke and Werger 1999; Kenji 2000). 특히 영양소, 영양염류 등을 큰 종자는 많이

포함하고 있어 불리한 환경에서도 잘 자란다 (Leishman and Westoby 1994; Milberg *et al.* 1998).

이상의 연구결과들로 볼 때 종자가 크면 유식물 생존율이 높았으나 우리의 연구에서는 중간 종자의 생존이 가장 유리한 것으로 밝혀졌다. 이러한 종자크기와 생존율에 관한 선행 연구결과와 우리의 연구결과가 차이는 이유는 우리의 연구는 종자크기만을 변수로 하여 실험하였고, 다른 연구자들은 영양소, 토양, 광치리와 수분의 환경조건을 처리하였기 때문으로 판단된다. 따라서 보다 자세한 연구결과를 얻기 위해서는 종자크기와 다양한 환경요인을 동시에 고려한 연구가 필요하다.

적 요

식물의 초기 생활사가 종자크기에 따라 어떤 영향을 받는지 알아보기 위하여 우리나라 산림군락에서 상수리나무, 굴참나무, 갈참나무, 졸참나무 참나무 4종의 열매를 3등급의 크기 (대, 중, 소)로 구분하고, 그에 따른 4종의 발아율, 겨울철 생존율과 초기 성장율을 측정하였다. 평균 발아율은 종자가 큰 상수리나무와 굴참나무에서 높았고, 상대적으로 크기가 작은 갈참나무와 졸참나무에서 낮았다. 그러나 종 내 종자크기에 따른 발아율은 굴참나무에서만 종자가 작을수록 높았고, 나머지 3종은 종자크기에 따른 경향성이 없었다.

평균 초기 성장율은 종자크기에 비례하여 상수리나무, 굴참나무 > 갈참나무 > 졸참나무 순으로 낮았다. 초기 성장율은 상수리나무와 굴참나무에서 종자가 크거나 중간인 것이 작은 것보다 높았으나, 종자가 작은 갈참나무와 졸참나무 내에서는 종자크기에 따른 차이는 없었다. 겨울 동안의 생존율은 4종 모두 중간 크기의 종자에서 가장 높았으나, 졸참나무나 굴참나무는 작거나 큰 종자에서는 전혀 생존하지 않았다.

결론적으로 발아와 초기 성장에는 큰 종자가, 생존에는 중간크기 종자가 각각 유리하였다. 이것은 종자의 크기가 식물의 생활사에 미치는 영향은 성장단계에 따라서 서로 다를 수 있음을 의미한다.

사 사

본 논문은 한국연구재단의 신진교수 지원사업 (과제번호 2010-0075)과 공주대학교 교내연구비 (2010년)에 대하여 수행되었음에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 김지문, 권기원, 문홍규, 박홍준. 1984. 수분 및 시비처리에 따른 참나무 실생묘의 생육반응. 충남대학교 농업과학연구소 연구보고. 11:207-217.
- 김해란, 정현모, 김혜주, 유영한. 2008. 상수리나무와 굴참나무의 생태적 지위에 관한 연구. 환경생물. 26:385-391.
- 문국이. 2007. 수박종자의 크기가 묘의 소질 및 수량에 미치는 영향. 진주산업대학교 산업대학원 원예학과. pp. 1-5.
- 변무섭. 2000. 광도와 토양수분 구배에 따른 참나무류 치수의 발아 및 성장. 한국농림기상학회지. 2:183-189.
- 송호경, 장규관, 김성덕. 1995. TWINSPAN과 DCCA에 의한 신갈나무 군집과 환경의 상관관계 분석. 한국임학회지. 84:299-305.
- 신만용, 임주훈, 전영우, 고영주. 1992. 신갈나무-잣나무 천연 혼효림분의 개성 및 무육방법. 한국임학회지. 81:21-29.
- 이경준. 1995. 수목생리학. 서울대학교출판부.
- 이창복. 1961a. 한국산 참나무류의 계통학적 연구 (1). 서울대학교 논문집. 10:87-108.
- 이창복. 1961b. 한국산 참나무류의 계통학적 연구 (2). 서울대학교 논문집. 10:97-141.
- 이창복. 2003. 원색 대한식물도감. 향문사. pp. 910.
- 이호중, 유영한. 2009. 세 가지 환경구배에 따른 신갈나무의 생태적 지위폭과 상수리나무, 굴참나무와의 생태적 중복역. 환경생물. 27:191-197.
- 임업연구원. 1988. 참나무자원의 종합이용에 관한 연구 (I). 과학기술처. pp.226.
- 임업연구원. 1989. 참나무자원의 종합이용에 관한 연구 (II). 과학기술처. pp.307.
- 임업연구원. 1990. 참나무자원의 종합이용에 관한 연구 (III). 과학기술처. pp.449.
- 전병삼, 강진호, 윤수영, 이상우, 정종일. 2003. 안동대목 종자의 크기와 등숙 정도에 따른 발아, 유묘 출현 및 성장. Korean Journal of Crop Science 48:152-155.
- 정중규, 김해란, 유영한. 2010. 지구온난화에 따른 상수리나무와 굴참나무의 생육반응에 관한 연구. 한국환경생태학회지. 24:648-656.
- 정태현, 이우철. 1965. 한국삼림 식물대 및 적지적수론. 성균관대학교 논문집. 10:329-366.
- 정현모, 김해란, 유영한. 2009. 환경구배처리에 따른 상수리나무, 굴참나무와 신갈나무의 생육 차이. 환경생물. 27:82-87.
- 홍용식, 유영한, 이훈복. 2010. 한국산 참나무류 6종의 주요 영양염류 농도의 계절적 변화, 한국환경생태학회지. 24:286-292.
- Bonfil C. 1998 The effects of seed size, cotyledon reserves, and herbivory on seedling survival and growth in *Quercus rugosa* and *Q. laurina*. American Journal of Botany 85:79.
- Givnish TJ. 1988. Adaptation to sun and shade : A whole-plant perspective. Aust Journal of Plant Physiology 15:63-92.
- Gómez JM. 2004. Bigger is not always better : conflicting selective pressures on seed size in *Quercus ilex*. Evolution 58:71-80.
- Harper JL, Lovell PH and Moore KG. 1970. The shapes and sizes of seeds. Ecology System 1:327-356.
- He Js, Flynn DFB, Wolfe-Bellin K, Fang J and Bazzaz FA. 2005. Co2 and nitrogen, but not population density, alter the size and C/N ratio of *Phytolacca americana* seeds. Functional Ecology 19:437-444.
- Kanazawa Y. 1975. Production, dispersal and germination of acorns in natural stands of *Quercus crispula*. Journal of the Japanese Forest 57:209-214.
- Ke G and Werger M JA. 1999. Different responses to shade of evergreen and deciduous oak seedlings and the effect of acorn size. Acta Oecologica 20:579-586.
- Kenji S. 2000. Effects of seed size and emergence time on tree seedling establishment : importance of developmental constraints. Oecologia 123:208-215.
- Kenji S and Kihachiro K. 1991. Phenology of tree seedlings in relation to seed size. Canada Journal of Biotechnology 69:532-538.
- Krebs CJ. 2009. Ecology sixth edition. Benjamin Cummings. p. 59.
- Leishman MR and Westoby M. 1994. The role of large seed size in shaded conditions : experimental evidence. Functional Ecology 8:205-21.
- Leishman MR, Wright LJ, Moles AT and Westoby M. 2000. The evolutionary ecology of seed size. CAB international. pp. 31-59.
- Long TJ and Jones RH. 1996. Seedling growth strategies and seed size effects in fourteen oak species native to different soil moisture habitats. Trees 11:1-8.
- Mccomb AL. 1934. The relation between acorn weight and the development of one year chestnut oak seedlings. Journal of Forestry 32:479-484.
- Metcalf DJ and Grubb PJ. 1995. Seed mass and light requirements for regeneration in Southeast Asian rain forest. Botany 73:817.
- Milberg P, Férrez-fernández MA and Lamont BB. 1998. Seedling growth response to added nutrients depends on seed size in three woody genera. Journal of Ecology 86:624-632.
- Noh HC and Jeong HY. 2002. Statistica. Hyungseul. pp. 628.
- Stanton ML. 1984. Seed variation in wild radish : effect of seed size on components of seedling and adult fitness. Ecology 65:1105-1112.
- Stanton ML. 1985. Seed size and emergence time within a stand of wild radish (*Raphanus raphanistrum* L.) : establishment of a fitness hierarchy. Oecologia 67:524-531.
- Westoby M, Jurado E and Leishman M. 1992. Comparative

evolutionary ecology of seed size. *Trends Ecology* 7:368-372.

Wulff RD. 1986. Seed size variation in *desmodium paniculatum*, II. Effects on seedling growth and physiological performance. *The Journal of Ecology* 74:99-114.

Xiao Z, Zhang Z and Wang Y. 2004. Dispersal and germination of big and small nuts of *Quercus serrata* in a subtropical

broad-leaved evergreen forest. *Forest Ecology and Management* 195:141-150.

Manuscript Received: August 30, 2011

Revision Accepted: October 28, 2011

Responsible Editor: Youngil Youn